

SISTEMAS DE TRANSMISION NUMERICA POR FIBRA OPTICA

Por:

J. Antonio Delgado Penin

Cátedra de Sistemas de Telecomunicación.
E.T.S.I. Telecomunicación. U.P.B.

I.- SISTEMA DE TRANSMISION NUMERICA POR FIBRAS OPTICAS

INTRODUCCION

El tratamiento de la temática de la transmisión que usa fibras ópticas no puede ser diferente del que se da a cualquier otro tipo de transmisión que emplea soporte físico. Esta transmisión tiene problemas peculiares a causa del margen de frecuencias en que nos movemos, pero la filosofía de la transmisión se mantiene. En definitiva, cambia la metodología de resolución del problema de transmitir y recibir y como consecuencia aparece una nueva tecnología.

A nadie pasa desapercibido el hecho de que la cantidad de información aumenta de día en día y que por consiguiente, las Redes de Telecomunicación actuales quedarán desbordadas en un plazo de tiempo no muy lejano. Este hecho ha llevado a pensar, que una de las posibles soluciones sea la de la "digitalización" tanto de la parte que afecta a los sistemas de transmisión como aquella que toca a la conmutación. Por consiguiente, se prevee una evolución del tráfico en sentido creciente, difícil de cuantificar a la hora actual, a causa del impacto imprevisible de las transmisiones numéricas que por múltiples razones técnicas y económicas aumentan de día en día.

Las señales numéricas que existen en las Redes de Transmisión tienen dos fuentes bien conocidas. Una, señales que en su origen ya son numéricas como es el caso de los datos digitales, telegrafía, telex, etc.; y otra, señales que nacen analógicas en su fuente pero se transforman en numéricas por conveniencia técnica y económica para los procesos de transmisión y conmutación. En nuestra opinión, las primeras no tendrán por sí solas tal entidad como para decidir el diseño de un sistema de transmisión numérica por fibras ópticas. La razón se comentará mas adelante. La situación es

diferente para el caso de las señales que emplean la conversión A/D y D/A. Hoy la transmisión PCM (modulación de impulsos codificados) de canales telefónicos ofrece ventajas a tener en cuenta, como son: la de reducir el equivalente de transmisión, mejorar la estabilidad de dicho equivalente, reducir costes en longitudes de circuitos inferiores a 80 Km., rebajar el coste de manutención y proveer una mayor adaptabilidad a señales procedentes de orígenes distintos.

El soporte físico hasta ahora utilizado para estas transmisiones numéricas ha sido y es, el cable en sus diferentes versiones: pares, cuadretes, coaxiales. El futuro era previsible para las guías circulares metálicas hace unos cuantos años, pero la aparición de la transmisión guiada por fibras ha puesto en tela de juicio tal medio por las enormes dificultades técnicas que posee. En consecuencia se trastocaron muchos planes, muchos estudios y se reorientaron nuevos esfuerzos.

Es de estos esfuerzos en el dominio de las fibras como soporte de transmisión numérica de los que nos ocupamos en lo que sigue. Para ello hemos articulado lo tratado, brevemente, en tres partes.

En la primera hacemos un planteamiento del problema de este tipo de transmisión empleando como soporte la fibra óptica. En la segunda comentamos las soluciones de tipo teórico y práctico (tecnológico), y en la tercera hacemos referencia al futuro que se puede preveer para este tipo de transmisiones.

Planteamiento del problema para este tipo de transmisión

Hemos comentado al principio, que las fibras ópticas como soporte de transmisión dan un aspecto al problema completamente análogo al que se suscita en la transmisión por cables de cobre. En consecuencia, debe plantearse el problema en este tipo de transmisión de manera semejante a la utilizada para dichos cables de co

bre. No obstante, habrá que tener en cuenta que el medio es propagador de señales ópticas que exigen la presencia de dispositivos de extremidad para verificar la transducción señal eléctrica a señal óptica en la parte transmisora y viceversa en la receptora, lo que introduce elementos nuevos en un planteamiento de transmisión por soporte físico.

Sentada la premisa anterior, cabe preguntarse, ¿cómo modelar una situación de transmisión numérica? La respuesta es también clásica pero particularizada para este caso. El modelo de canal numérico tiene en cuenta el hecho de que la fibra óptica se comporta como un filtro paso bajo equivalente con una función de transferencia completamente análoga a la de un cable. En definitiva, el modelo numérico desde nuestro punto de vista puede esquematizarse como indicamos en la Figura 1 y cuyos bloques los indicamos a continuación:

- Fuente de información digital
- Codificador de línea
- Modulador
- Fuente luminosa: LED o LD
- Fibra óptica
- Fotodetector
- Amplificador de bajo ruido
- Igualador
- Muestreo y Decisión
- Decodificador de línea
- Destinatario de información digital

Si se enfoca el problema bajo esta perspectiva, que por otra parte es la única que actualmente se emplea tanto por investigadores como por tecnólogos, las hipótesis verosímiles para un modelo de canal numérico como el que estamos comentando están enton-

ces ligadas a las características que pueden tener cada uno de los bloques señalados en la Figura 1 y por supuesto a la cantidad de información que se pueda producir en la entrada del sistema.

Los sistemas de transmisión numérica por fibra óptica que están en fase de Laboratorio para transmisiones que se verifiquen a distancias superiores a los dos Km., emplean velocidades del orden de los 34 Mbit/sg., que corresponden al segundo nivel jerárquico para las transmisiones digitales en Europa. Dicha cifra sale a relucir porque una cantidad de información tan voluminosa procedente tan sólo de fuentes directamente digitales es una masa de información que no existirá durante muchos años en un país europeo y en consecuencia se infrutilizaría el sistema de transmisión. Pero no sucede lo mismo con las señales telefónicas; éstas aumentan día a día y su transformación en señales numéricas PCM es un paliativo al problema que se origina. En este caso, la cantidad de información de 34Mbit/sg., (aproximadamente 480 canales telefónicos simultáneos) ya no es una cifra tan voluminosa, un ejemplo: la transmisión de señales de una central urbana a otra central urbana. Las posibles soluciones con pares simétricos son insuficientes y los radioenlaces digitales para centros urbanos tendrán que trabajar en frecuencias milimétricas lo que plantea nuevos problemas y nuevas inversiones económicas que con las estimaciones actuales son superiores a aquellas que se han hecho para la transmisión por fibras. Parece pues verosímil, que el tráfico mayor vendrá de las fuentes telefónicas que cada vez exigirán mayores velocidades para dar fluidez al enorme volumen de tráfico originado.

La siguiente hipótesis a considerar es la que hace referencia al codificador/decodificador de línea. En este caso se plantean los mismos problemas que para la transmisión por cable, es decir, la señal eléctrica que lleva la información debemos codificarla de tal manera que la densidad espectral de potencia tenga las características que se ajusten lo mejor posible al proceso de transmisión y recepción. Concretamente, la selección del código adecuado para una señal que cuando transita por el medio es óptica no es nada sencilla y posee condiciones de contorno diferentes a las de los cables, como por ejemplo, el hecho de que una señal óptica es por su

misma naturaleza positiva, y en consecuencia no podemos utilizar la información que se produce en todo cambio de signo de una señal, lo que si es factible en una transmisión por cable. Buenas características para un código a utilizar en este tipo de transmisión pueden ser las siguientes:

- Que pueda extraerse de la señal recibida el sincronismo que existe en todo sistema de transmisión numérica.
- Que el decodificador sea capaz de reconocer la fase con que llega la señal de sincronismo.
- Que sea capaz de detectar los errores de transmisión en línea con el objeto de asegurar un telecontrol del sistema en su totalidad.
- Debe poseer un espectro que no tenga componentes espectrales importantes en baja frecuencia.
- Debe ocupar una banda lo mas pequeña posible.

A estas restricciones que surgen de la propia organización del sistema, es necesario añadir aquellas que ponen los componentes llamados de extremidad, como es el caso de las fuentes luminosas. No se plantean las mismas cuestiones si la fuente luminosa trabaja en régimen impulsivo que si lo hace en régimen continuo y en consecuencia las soluciones para elegir el código de línea harán hincapié en unos u otros aspectos. La elección de una fuente luminosa concreta condiciona la cantidad de información que podemos transmitir por unidad de tiempo. La aparición de los diodos a efecto Láser nos permite obtener impulsos de potencia luminosa muy rápidos y en consecuencia trabajar con velocidades, que alcanzan el tercer nivel jerárquico en las recomendaciones del CCITT, del orden de 140 Mbit/sg.

Por lo que se refiere a la fibra desde nuestra perspectiva solo podemos pedir que la atenuación por Km. sea lo más pequeña posible y lo mismo para el parámetro dispersión.

Dentro del planteamiento que estamos haciendo, los primeros bloques del receptor están constituidos por el fotodetector y el amplificador de bajo ruido. Estos dos bloques condicionan también la transmisión definitiva a causa de su mayor o menor respuesta y hasta ahora una vez que tenemos el fotodetector sólo nos queda construir un amplificador llamado de bajo ruido precisamente por - que se desea que a su salida el cociente señal/útil/ruido total sea mínimo. El diseño de un tal amplificador es el caballo de batalla previo a cualquier otra consideración posterior en el receptor. Si no tenemos la suficiente relación señal-ruido para verificar la detección no podemos tener una buena eficiencia del sistema traducida en tasa de error. Para velocidades del orden de 8 Mbit/seg. (120 canales telefónicos simultáneos) el amplificador de bajo ruido suele tener como componente activo principal un transistor FET. Por tanto, debemos lograr que el ruido térmico y de granalla junto con el cuántico, sean lo mas pequeños posibles a la salida del amplificador de bajo ruido; y por lo que se refiere al fotodetector que posea la mayor ganancia de conversión junto con un buen diseño del amplificador desde el punto de vista de ganancia.

Por último, comentemos cuáles son las condiciones que exige la parte digital del receptor, que obviamente son diferentes según la velocidad de la señal recibida y condicionadas de manera decisiva por la función de transferencia de la fibra óptica.

Para las velocidades de 2,8 y 34 Mbit/seg., el espectro de las señales encaja perfectamente en las fibras hoy ya operacionales, a causa de que su ancho de banda es mucho mayor que el de las señales digitales recibidas. No obstante, se ha utilizado una Igualación con el único fin de reducir el ruido antes de la detección propiamente dicha y en consecuencia elevar también la razón señal útil/ruido. Esto se puede realizar con una sencilla célula RC.

Para velocidades de transmisión, en las que la fibra ya ponga serias dificultades al espectro de la señal transmitida, la solución al problema de la Igualación no será el mismo, y esto plantea otro motivo de discusión.

Soluciones actuales para el problema planteado

Acabamos de comentar que la transmisión numérica por fibras ópticas es interesante en transmisiones que podemos llamar "civiles" siempre y cuando tengamos un gran caudal de información que transmitir, pero no hemos comentado nada sobre los diferentes sistemas en función de un parámetro que condiciona todo sistema de transmisión sobre soporte físico. Nos referimos a la distancia que debe separar los diferentes repetidores regenerativos cuando deseamos proyectar un sistema completo de transmisión. Aparece por consiguiente el parámetro distancia pequeña, mediana y grande todavía no definido en sede internacional. En definitiva, los parámetros caudal de información y distancia entre repetidores deben ser datos para solventar nuestro problema.

Siguiendo de forma lógica la "cadena" de transmisión que hemos representado en la Fig. 1 comentamos las diferentes soluciones adoptadas.

En el caso de la codificación-decodificación de línea, los diferentes equipos de personas que trabajan en el campo tienen todos el mismo deseo: enviar en el período del símbolo que representa un estado de información formas de onda lo mas estrechas posibles con el objeto de reducir al máximo el problema de la interferencia entre símbolos en el momento de la detección. Normalmente se emplea un "duty cycle" del 50%. Este punto junto con el deseo de trabajar con señales binarias limita el campo de elección de los códigos multinivel. La experiencia a 2 Mbit/sg. ha confirmado que con códigos multinivel el "diagrama del ojo" se presenta mas cerrado que en el caso de un código a dos niveles, lo que indica que las prestaciones del sistema son peores, es decir, tasa de error mas elevada para un mismo cociente señal ruido en la recepción. Como comentamos también anteriormente, las fuentes luminosas condicionan el tipo de código de línea utilizado, se ha comprobado experimentalmente -caso del CNET francés- que para velocidades de 2, 8 y 34 Mbit/seg. los códigos utilizables para régimen impulsivo o continuo tienen presta

ciones diferentes. Concretamente, en régimen continuo no presentan mal comportamiento los que indicamos a continuación:

- Binario NRZ
- Binario NRZ pasado por "scrambler"
- Bifase
- Miller
- H D B 3 que tiene tres niveles

Todos ellos han sido utilizados para el caso de un diodo con efecto Láser.

En cuanto se refiere a las exigencias de las fuentes luminosas, fibras y fotodetectores, son datos para el proyectista que nosotros no podemos modificar. Normalmente, la potencia óptica inyectable en la fibra varía entre 10 dbm para un Diodo Láser y 0 dbm para un LED, mientras que las potencias exigidas en recepción para los fotodetectores oscilan entre 20 y 60 dbm para los del tipo PIN o APD en función de la frecuencia de repetición de los impulsos transmitidos.

Otro de los problemas abiertos que exige soluciones es el que hace referencia a la etapa regenerativa del receptor numérico, es decir, las partes que forman el Igualador-Muestreador-Regenerador como se indica en la Fig. 2. Dijimos al plantear el problema, que la Igualación se está haciendo actualmente a nivel de reducir el ruido, y presentar buena relación señal-ruido cuando se muestree y decida, pero todavía no se ha intentado atacar el problema de Igualar la fibra en su conjunto. En la Fig. 2 se dibuja el esquema clásico para una Igualación de tipo transversal para velocidades medias y bajas. No obstante, debemos ser conscientes que aun cuando se podría mejorar las situación y emplear por tanto fibras mas baratas, la inserción de un Igualador aumentará el coste del enlace numérico en fibra, disminuyendo su competitividad con los actuales sistemas via cable, por lo que cada vez que sea posible, es oportuno emplear fibras con dispersión menor. Sin embargo, hay velocidades superiores

a 140 Mbit/seg. que obligan a emplear en el receptor la Igualación, ya que la dispersión de los impulsos transmitidos llega a ser el factor determinante de la longitud de la "sección de regeneración". En la Tabla I se señalan, a título de indicación, las diferentes atenuaciones longitudes de sección y velocidades para las diferentes fuentes luminosas y fotodetectores. En la Tabla II se comparan las longitudes de las secciones de los tipos de fibra con el caso de los cables coaxiales. Si comparamos los resultados de la Tabla I y la II podemos observar que las longitudes de Sección para las diversas velocidades resultan mayores en el caso de las fibras, por lo que ofrecen mayores ventajas.

Perspectivas futuras

Las perspectivas futuras de este tipo de transmisión están ligadas a las soluciones que acabamos de comentar.

Parece que para transmisiones a corta distancia no vale la pena emplear transmisiones numéricas por una sola fibra, mientras que en distancias medias y grandes, las perspectivas tanto teóricas como prácticas para una sola fibra sí son esperanzadoras.

Hemos dejado de comentar la cuestión de los cables de fibras por que es un tema que todavía no está suficientemente maduro desde el punto de vista de la transmisión numérica, pero no cabe duda que si además del multiplex especial en que se presentan las señales numéricas consideramos un multiplex espacial, el número de canales telefónicos que se pueden transmitir crece exponencialmente, pero todavía hoy no se sabe si a causa de la colocación de las fibras en un mazo que forme un cable, varían y de qué modo, las características de transferencias de la fibra y en consecuencia todos los parámetros de distancia, caudal de información, potencia óptica recibida, etc, etc.

Por último un tema futuro tal vez cercano, es el de las transmisiones a muy alta velocidad -superior a 250 Mbit/seg- que se

cree no podrán lograrse con fibras multimodo, pero sí con fibras monomodo y de las cuales son defensores los que creen que el tráfico telefónico crece exponencialmente. Quizás tengan razón.

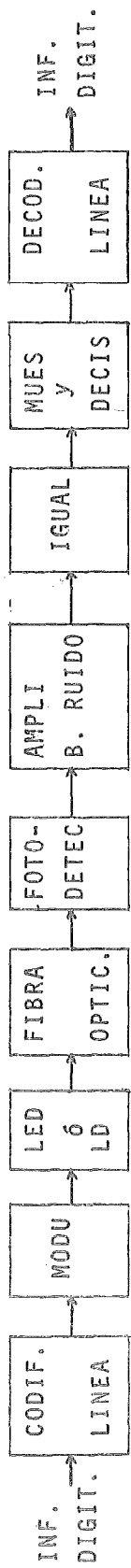


Fig. 1.

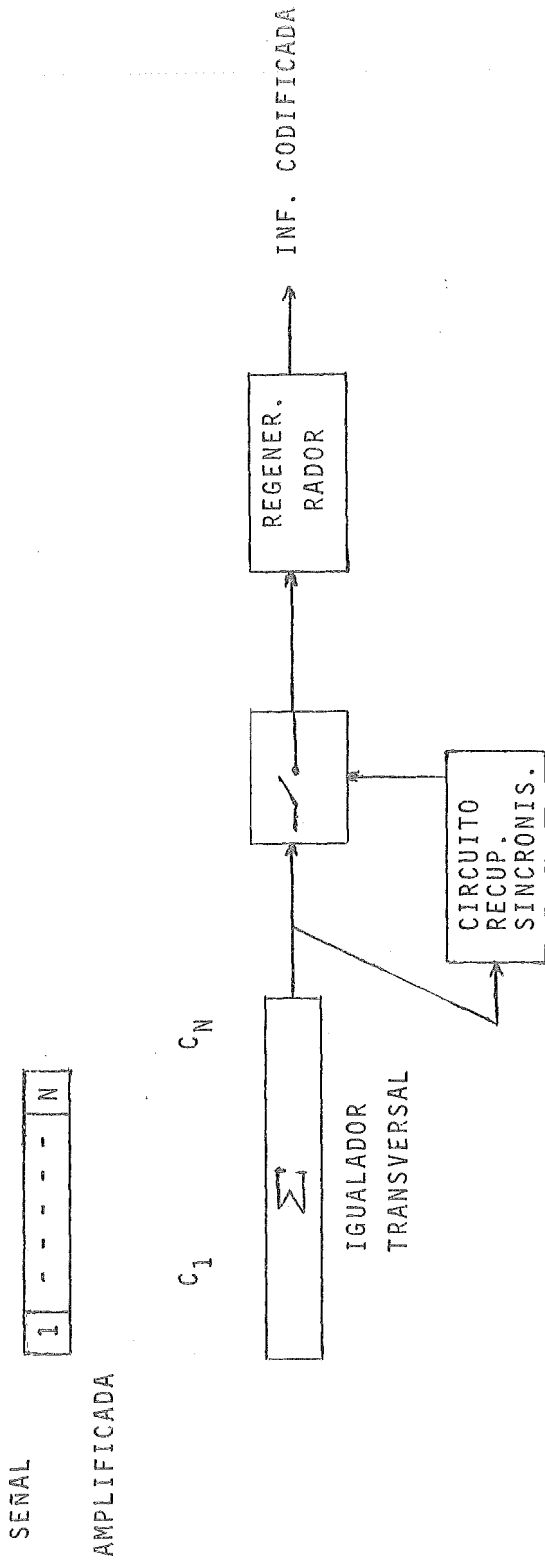


Fig. 2

T A B L A 1

VELOC. TRANS.		2,048 Mb/seg.		8,448 Mb/seg.		34,368 Mb/seg.		139,264Mb/seg	
Fuente	Receptor	α	e	α	e	α	e	α	e
Fuente Luminosa									
Láser									
Láser a Semic	Fotodet. si APD	49,5	9,9	43,3	8,66	37,3	7,46	31,2	6,24
"	" si PIN	40	8	33,8	6,76	27,8	5,56	21,7	4,34
Diodo									
Diodo Elect. Lumi-nisc.	" si APD	36,5	7,3	30,3	6,06	24,3	4,86		
"	" si PIN	27	5,4	20,8	4,16	14,8	2,96		

T A B L A I I

<u>Veloc. Transm.</u>	2,048	8,448	34,368	139,264
Fibra Step(10 nsg/Km)	45,5Km	11Km	2,7Km	0,67Km
" Graded (1 nsg/Km)	455Km	110Km	27Km	6,7Km
Tipo de cable	Pares simétricos	Coax.:0,7/29	Coax.:0,7/29	Coax.:1,2/44
Longitud regeneración	2 Km	4 Km	2 Km	2 Km